

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 02-299108

(43)Date of publication of application : 11.12.1990

(51)Int.Cl.

H01B 12/16  
F25D 3/10

(21)Application number : 01-119652

(71)Applicant : FURUKAWA ELECTRIC CO LTD:THE

(22)Date of filing : 12.05.1989

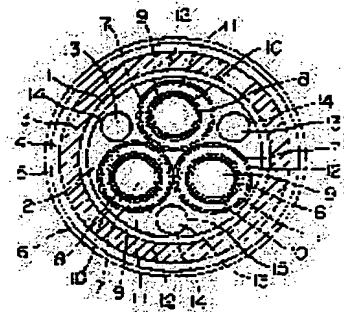
(72)Inventor : TANAKA SATORU  
ADACHI KOICHIRO  
ICHIYANAGI NAOTAKA

## (54) SUPERCONDUCTING CABLE

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To make the outer diameter of a cable thin and reduce the pressure loss by using a superconductor for cable cores, and arranging uncorrugated metal pipes forming coolant passages in a heat insulating conduit.

**CONSTITUTION:** A protective metal pipe 4 is arranged around a metal 1 forming a coolant passage 2 via a heat insulator layer 3, and an anticorrosive layer 5 on the outermost layer to obtain the pipe 1 forming the passage 2 of a heat insulating conduit 6. Cylindrical superconductors 10 are provided around metal pipes 8 forming coolant passages 9 in cores, electric insulating layers 11 are provided around these conductors 10, and the desired number of superconducting cable cores 7 provided with shielding superconductors 12 are arranged around the layers 11. The desired number of uncorrugated metal pipes 14 forming coolant passages 13 are arranged in the pipe 1 forming the passage 2 of the conduit 6.



⑬ Int. Cl.<sup>5</sup>H 01 B 12/16  
F 25 D 3/10

識別記号

Z A A  
Z A A A

庁内整理番号

8936-5G  
8113-3L

⑭ 公開 平成2年(1990)12月11日

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全5頁)

⑮ 発明の名称 超電導ケーブル

⑯ 特 願 平1-119652

⑰ 出 願 平1(1989)5月12日

⑱ 発 明 者 田 中 悟 千葉県市原市八幡海岸通 6 古河電気工業株式会社千葉事業所内

⑲ 発 明 者 足 立 浩 一 郎 千葉県市原市八幡海岸通 6 古河電気工業株式会社千葉事業所内

⑳ 発 明 者 一 柳 直 隆 千葉県市原市八幡海岸通 6 古河電気工業株式会社千葉事業所内

㉑ 出 願 人 古河電気工業株式会社 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

㉒ 代 理 人 弁理士 小林 正治

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

超電導ケーブル

## 2. 特許請求の範囲

冷却剤流路2を形成する金属管1の外周に熱絶縁体層3を介して保護用金属管4が配設され、最外層に防蝕材層5が設けられてなる断熱管路6の、前記金属管1中に、コア用冷却剤流路9を形成する金属管8の外周に管状の通電用超電導導体10が設けられ、同超電導導体10の外周に電気絶縁層11が設けられ、同絶縁層11の外周に遮蔽用超電導導体12が設けられてなる超電導ケーブルコア7が所望本数配置された超電導ケーブルにおいて、前記断熱管路6の金属管1内に、冷却剤流路13を形成する波付けされていない無波付金属管14が所望本数配置されてなることを特徴とする超電導ケーブル。

## 3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は外径が細く、圧力損失が少ない超電導

ケーブルに関するものである。

(従来技術)

超電導ケーブルは従来からあり、その構造は第2図に示されるように、冷却剤流路2を形成する金属管1の外周に熱絶縁体層3を介して保護用金属管4が配設され、最外層に防蝕材層5が設けられてなる断熱管路6の、前記金属管1内に超電導ケーブルコア7が所望本数配置されてなる。

この超電導ケーブルコア7はコア用冷却剤流路9を形成する金属管8の外周に管状の通電用超電導導体10が設けられ、同超電導導体10の外周に電気絶縁層11が設けられ、同絶縁層11の外周に遮蔽用超電導導体12が設けられている。

上記通電用超電導導体10と遮蔽用超電導導体12は、例えばビスマス、ストロンチウム、カルシウム、銅の酸化物、或はイットリウム、バリウム、銅の酸化物などの酸化物超電導体と、例えば銅またはアルミニウムからなる安定化層とが接合された複合テープから構成されている。

ところで従来前記超電導ケーブルでは、通電

用超電導導体10と遮蔽用超電導導体12の両方(以下単に超電導導体と記す)を、必要とされる超電導電流を通電可能な温度領域に保持するために、導体や絶縁体から発生する熱や外部から断熱管路6中に侵入する熱を除去する必要がある。このため従来の超電導ケーブルでは断熱管路6内の冷却剤流路2、及びケーブルコア内のコア用冷却剤流路9に冷却剤として液体窒素を流している。これらの冷却剤流路2、9を流れる液体窒素は、超電導ケーブルコア7に含浸されて電気絶縁の役割も果たすようにしてある。

この上記二つの冷却剤流路2、9に流す液体窒素は上記の熱の合計量を完全に除去できるだけの量が必要であり、且つ十分な電気絶縁特性を発揮できるだけの圧力を持つものでなければならない。ちなみに、液体窒素の流量が不足すると超電導ケーブルコア7の温度が上昇し過ぎて超電導状態が破れ、送電不可能となる。また、前記圧力が不足すると液体窒素中に泡が生じて電気絶縁特性が低下し、ケーブルが絶縁破壊してしまう。

#### (発明が解決しようとする課題)

しかし、圧力損失を低減し、信頼性を向上させるために液体窒素流路断面積を大きくするとケーブルの外径が大きくなる。

例えば、送電電圧66kV、送電容量1000MVA、超電導層の臨界電流密度 $1 \times 10^8 \text{ A/cm}^2$ 、外径40mmのケーブルコアが3本内蔵された、厚み40mmの断熱層を持つ管路を持つ従来の超電導ケーブルの場合、3本のケーブルコアを内蔵できる最小の断熱管路内径は90mmであり、ケーブル外径は最小で170mmとなる。

しかし、このケーブルでは液体窒素を2.5kmの一冷却区間長で往復循環させると、圧力損失が10気圧程度にもなるため、液体窒素冷却機からケーブルに入るところで15気圧に保持してもケーブル出口では5気圧程度に低下してしまう。このため電気絶縁層11に部分放電が起きないようにするのに必要な圧力が得にくく、運転の安定性や信頼性がきわめて低くなる。

ちなみに、ここで生じる圧力損失は超電導ケー

また、冷却剤流路2、9内を流れる液体窒素には圧力損失が生じるが、それは流量の2乗に比例し、被付けされていない流路管の直径の5乗に反比例して増大する。この圧力損失は断熱管路を曲げ得るようにするために断熱管路6を構成する金属管1、及び保護用金属管4に被付けした場合も、流れる液体窒素に加わる抵抗が増大して大きくなる。この圧力損失が大きくなると圧力不足のためにケーブルが絶縁破壊する危険が起きたり、液体窒素が冷却区間全体に流れなくなってケーブルが十分に冷却されなくなったりする。このため一冷却区間で許容される圧力損失はある最大許容値以下にしなければならない。

そのためには液体窒素流路断面積を一定面積以上確保しなければならない。

また圧力損失がたとえ最大許容値を超えない場合でも、圧力損失が大きくなるほどケーブルに大きな電気的、機械的負荷がかかるので、設計上、強度を高める必要が生じ、また、ケーブル運転時の安定性や信頼性も損なわれる。

ブルコア7の内部のコア用冷却剤流路9内で生じたものではなく、断熱管路6の冷却剤流路2内で生じたものであり、その主な原因は、断熱管路6内の冷却剤流路2の形状が円形でなく、しかもコア内の冷却剤流路9よりも細いために、冷却剤の流れが乱れ易く、摩擦抵抗が増大することによる。

そこで、従来の上記超電導ケーブルにおいて、圧力が5気圧程度に下がらないようにするためには、ケーブル外径を170mmより大きくして圧力損失を減したり、入口圧力を20気圧に高めて出口圧力が10気圧程度になるようにケーブルの設計強度及び冷却機出力を高めることが必要になる。しかし、ケーブル外径を大きくするとその分だけ製造、輸送、布設の経費が高くなり、また、ケーブルの設計強度及び冷却機出力を高めると経費が高くなり、いずれにしてもコスト高となる。

以上のように従来の超電導ケーブルでは、圧力損失やケーブル外径が大きくなり、信頼性や経済性が損なわれるという問題点があった。

## (発明の目的)

本発明の超電導ケーブルは前記の諸問題を解決すべく開発されたものであり、その目的は、ケーブルの外径が細く、しかも圧力損失の少ない超電導ケーブルを提供することにある。

## (課題を解決するための手段)

本発明の超電導ケーブルは第1図のように、冷却剤流路2を形成する金属管1の外周に熱絶縁体層3を介して保護用金属管4が配設され、最外層に防蝕材層5が設けられてなる断熱管路6の前記冷却剤流路2を形成する金属管1中に、コア内の冷却剤流路9を形成する金属管8の外周に管状の通電用超電導導体10が設けられ、同超電導導体10の外周に電気絶縁層11が設けられ、同絶縁層11の外周に遮蔽用超電導導体12が設けられてなる超電導ケーブルコア7が所望本数配置された超電導ケーブルにおいて、前記断熱管路6の冷却剤流路2を形成する金属管1内に、冷却剤流路13を形成する波付けされていない無波付金属管14を所望本数配置させたことを特徴とするもの

損失を少なくするには、断熱管路6の内径と超電導ケーブルコア7の外径との比 $R/J$ が、 $2.1 \leq R/J \leq 2.5$ となるようにするのが望ましい。

## (作用)

本発明の超電導ケーブルは、断熱管路6の金属管1内に、冷却剤流路13を形成する波付けされていない無波付金属管14が設けられているので、従来の超電導ケーブルで断熱管路6内を通過していた冷却剤の全部または殆ど全部を、冷却剤流路13を形成する無波付金属管14内に流すことによって、断熱管路6を構成する金属管1内と冷却剤流路13内で生じる圧力損失が大幅に減少する。

## (実施例)

以下に本発明の超電導ケーブルを実施例により詳細に説明する。

第1図に示した本発明の超電導ケーブルの送電規格を66kV、1000MVA、ケーブル外径を170mmとして、圧力損失 $P$ を求めた。圧力損失 $P$ は次のようにして求められる。

である。

本発明における冷却剤流路13を形成する無波付金属管14としては、その内部を流れる冷却剤が外部から熱を効率よく取り込めるように、例えば銅のように熱伝導度の高い金属で作られている。

本発明の超電導ケーブルを使用するに当っては、従来の超電導ケーブルの断熱管路6内の冷却剤流路2を形成する金属管1内に流されていた冷却剤の全部または殆ど全部を、本発明の超電導ケーブルの断熱管路6内に配置した無波付金属管14内に流すのが望ましく、その場合は、超電導ケーブルコア7に含浸させるための電気絶縁用液体窒素を、無波付金属管14内に流す熱除去用液体窒素と分離して用いる。このようにすれば、電気絶縁用液体窒素は熱除去用液体窒素と異なり、冷却区間内を循環させる必要が無いので圧力損失が生ぜず、全区間の圧力一定となるので、より一層信頼性の高い電気絶縁を行なうことができる。

本発明の超電導ケーブルの外径を細くし、圧力

$$P = R \cdot M^2 \cdot L / D^5 \cdots (1)$$

但し、

$R$  : 流動抵抗、 $M$  : 冷却剤質量流量、

$L$  : 冷却区間長、

$D$  : 冷却剤流路直径 (または冷却剤流路等価直径)。

冷却剤質量流量 $M$ は次式で求められる。

$$M = W \cdot L / (C \cdot T) \cdots (2)$$

但し、

$W$  : 除去すべき熱量、 $C$  : 冷却剤熱容量、

$T$  : 冷却剤温度上昇。

除去すべき熱量 $W$ は導体の交流損失、電気絶縁体の誘電損失及び熱侵入からなる。

上記(1)(2)式において $L = 2.5 \text{ km}$ 、

$C = 2035 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ 、 $T = 15 \text{ K}$ とし、 $W$ は主たるものが導体交流損失で、これが超電導導体の臨界電流密度に反比例することも考慮して、この電流密度を $1 \times 10^8 \text{ A/cm}^2$ とした。

この実施例では、従来の超電導ケーブルの断熱管路を構成する冷却剤流路2を形成する金属管1

内を流れていた冷却剤のうち、95%を放付されていない無波付金属管14内に渡し、残り5%を断熱管路を構成する金属管1に流すものとした。

また、本発明の超電導ケーブルについて、断熱管路6を構成する金属管1と保護用金属管4が放付けされている場合と、放付けされていない場合の両方について圧力損失を算出した。また、比較のためそれと同一規格、同サイズの従来の超電導ケーブルについても同様の計算を行なった。その結果を、第1表に両者の設計数値を並べて示した。

第1表

項 目	単 位	本発明 品	従来品
定格容量	MVA/cct	1000	1000
定格電圧	k v	66	66

導体交流損失 合計		W/m	3	3
誘電損失合計		W/m	0.5	0.5
熱侵入合計		W/m	0.7	0.7
冷却剤温度上昇		K	15	15
冷却剤質量流量		kg/s	0.35	0.35
圧力 損失	波付型	atm	3.6	10.9
	無波付 型	atm	3.6	8.7

波付型 : 断熱管路を構成する金属管1、保護用金属管4が放付けされている場

臨界電流密度	A/cm <sup>2</sup>	1 × 10 <sup>4</sup>	1 × 10 <sup>4</sup>
冷却区間	km	2.5	2.2
通電導体外径	mm	25	25
ケーブル導体内径	mm	37	37
コア外径	mm	40	40
コア内冷却剤流 路徑	mm	20	20
断熱管路内径	mm	90	90
無波付金属管 内径	mm	18	--
ケーブル外径	mm	170	170

合。

無波付型：断熱管路を構成する金属管1、保護用金属管4が放付けされていない場合。

第1表より明らかなように本発明の超電導ケーブルでは定格容量1000MVAの大容量送電が、ケーブル外径が170mmという細いケーブルで可能となる。

また、超電導ケーブルでは、圧力損失が波付型の場合も、無波付型の場合も共に最大許容量の10気圧を大きく下回る3.6気圧、3.5気圧である。これより経済性と運転時の安定性、信頼性に優れていることがわかる。

これに対して従来の超電導ケーブルでは、本発明の超電導ケーブルと同容量、同サイズの場合、圧力損失が波付型の場合10.9気圧、無波付型の場合8.7気圧であった。

従って、比較例では本発明の超電導ケーブルに比して運転条件、設計条件が厳しくなり、ケーブル本体や冷却装置等がコスト高となる。

また、比較例において本発明のケーブルと同程度の圧力損失にするためには、ケーブル外径を大きくする必要があり、これまたコスト高となってしまう。

(発明の効果)

本発明の超電導ケーブルは、ケーブルコア7に超電導体がいられ、断熱管路6内に冷却剤流路2を形成する無波付金属管14が配されているので次のような効果がある。

①、ケーブル外径が細く、圧力損失が少ない超電導ケーブルとなり、大容量電力を低コスト、高信頼で送電することが可能となる。

②、本発明の超電導ケーブルでは、従来の超電導ケーブルの断熱管路6内に流していた冷却剤の全てを該断熱管路6内に別途配置した無波付金属管14に流し、超電導ケーブルコア7に含浸させるための電気絶縁用液体窒素を、無波付金属管14に流す熱除去用液体窒素と分離して用いるので圧力損失が生じない。また、冷却区間の全長に渡り十分な圧力を一定に保持できるので、より一

層信頼性の高い電気絶縁を行なうことができる。

③、電気絶縁用液体窒素を断熱管路6の金属管1内に流さないで、同液体窒素内に例えば氷のような不純物が混入し、これが通流中にケーブルコア及び断熱管路を傷付ける危険性を殆ど無くなる。

4. 図面の簡単な説明

第1図は、本発明の酸化物超電導ケーブルの一例の説明図、第2図は従来の酸化物超電導ケーブルの説明図である。

- 1は金属管
- 2は冷却剤流路
- 3は熱絶縁体層
- 4は保護用金属管
- 5は防蝕材層
- 6は断熱管路
- 7は超電導ケーブルコア
- 8は金属管
- 9は冷却剤流路
- 10は通電用超電導体

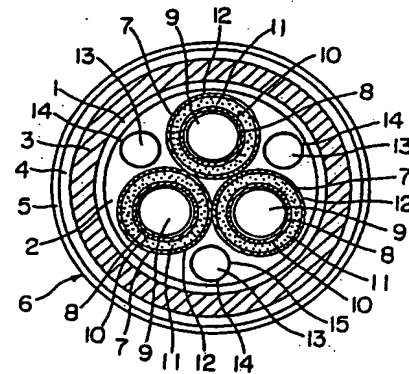
- 11は電気絶縁層
- 12は遮蔽用超電導体
- 13は冷却剤流路
- 14は無波付金属管

出願人 古河電気工業株式会社

代理人 弁理士 小林正治



第1図



第2図

